

А.В. Пікільняк, Н.І. Цивінда

СТРАТЕГІЇ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Анотація. У статті виконано комплексне дослідження проблематики підготовки інженерів-механіків за напрямом конструкторсько-технологічної підготовки виробництва в умовах дистанційного навчання, зумовленого воєнним станом в Україні. Обґрунтовано роль систем управління життєвим циклом виробу (PLM) як фундаментального інструменту формування цифрових компетенцій інженера-механіка. Проведено детальний порівняльний аналіз архітектури, функціональних можливостей та ліцензійної політики провідних світових платформ, таких як: Siemens Teamcenter, Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE, PTC Windchill та вітчизняної системи IT-Enterprise. Розглянуто технічні аспекти організації віддаленого доступу та питання інформаційної безпеки. Акцентовано увагу на перевагах впровадження вітчизняної платформи для вивчення процесів технологічного нормування, управління собівартістю та формування документації згідно з ДСТУ. Запропоновано методичні рекомендації щодо інтеграції різнорідних CAD/CAM/CAE/PLM систем у єдиний освітній простір університету.

Ключові слова: PLM-системи, цифрова трансформація освіти, дистанційне навчання, управління життєвим циклом, конструкторсько-технологічна підготовка виробництва, управління інженерними даними, цифровий освітній простір

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку світового машинобудування характеризується переходом до концепції «Індустрія 4.0», де ключовим активом стає не лише фізичне виробниче обладнання, а й цифрові дані. У цій парадигмі процес створення нового виробу трансформується у створення його цифрового двійника (Digital Twin), який супроводжує продукт на всіх етапах: від маркетингової ідеї та ескізного проектування до експлуатації та утилізації. Відповідно, змінюються і кваліфікаційні вимоги до інженера-механіка. Сучасний фахівець повинен володіти не лише навичками 3D-моделювання (CAD), а й компетенціями роботи в єдиному інформаційному просторі підприємства, розуміти принципи управління даними про виріб (PDM), логіку технологічної підготовки (CAPP) та планування ресурсів (ERP).

В умовах воєнного стану в Україні система вищої технічної освіти постала перед безпрецедентним викликом - необхідністю забезпечення якості інженерної підготовки в умовах тривалого дистанційного навчання та нестабільності інфраструктури. Традиційна модель навчання, що базується на фізичній присутності студентів у комп'ю-

терних класах та лабораторіях університету, стала частково або повністю недоступною. Це призвело до розриву між теоретичними знаннями та практичними навичками: студенти можуть вивчити теорію механізмів, але втрачають можливість працювати з ліцензійним промисловим програмним забезпеченням, яке зазвичай вимагає потужних робочих станцій та захищених локальних мереж.

Особливої гостроти набуває проблема конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПВ). Якщо геометричне моделювання можна частково реалізувати на персональних ноутбуках студентів за допомогою навчальних версій САД-систем, то процеси колективної роботи, управління версіями документів, узгодження змін та технологічного нормування вимагають розгортання складних серверних PLM-платформ. В умовах блекаутів, міграції студентів та викладачів, а також обмеженого фінансування ЗВО, виникає нагальна потреба у пошуку та впровадженні програмних рішень, які б поєднували хмарну архітектуру, низькі вимоги до клієнтського обладнання, економічну доступність та повну відповідність вітчизняним стандартам (ДСТУ, ЄСКД, ЄСТД). Ігнорування цієї проблеми загрожує випуском фахівців, не готових до реалій сучасного виробництва, що є критичним ризиком для післявоєнної відбудови промислового потенціалу України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика управління життєвим циклом виробу є предметом ґрунтовних досліджень у світовій науці. Фундаментальні основи PLM як стратегічного підходу до бізнесу викладені у працях Дж. Старка [1]. Автор визначає PLM не просто як набір програмного забезпечення, а як інтегровану інформаційну стратегію, що об'єднує людей, процеси та технології. Концепцію цифрових двійників, яка є ядром сучасних PLM-систем, детально розкрито у дослідженнях М. Гривза та Дж. Вікерса [2], де обґрунтовано необхідність синхронізації віртуальної моделі з фізичним об'єктом у реальному часі. Ці роботи формують теоретичний базис дослідження, однак вони орієнтовані переважно на стабільні економіки та розвинену ІТ-інфраструктуру, не враховуючи специфіку кризових умов.

Питання цифрової трансформації вищої освіти в Україні в умовах воєнного стану активно розглядаються у вітчизняній періодиці. Так, аналіз практик підготовки інженерних фахівців у навчально-науково-виробничих центрах технічних університетів показує, що інтеграція PLM-та САД/CAM/CAE-систем у навчальний процес сприяє формуванню ключових цифрових компетенцій та наближенню освітніх програм до вимог промисловості [3]. Інші дослідження вказують на необхідності адаптації конструкторсько-технологічних баз даних і впровадження автоматизованих PLM-рішень, що оптимізують електронні довідники, управління доступом і виконання технологічних операцій, як складової навчального процесу в технічних ЗВО України [4] Автори слушно зазначають, що фрагментарне вивчення окремих програмних пакетів не дає студентам цілісного уявлення про життєвий цикл виробу. Важливим аспектом є інтеграція інженерних та управлінських даних. У своїй праці J. Duda [5] розглядає інтеграцію PLM та ERP систем як основу цифрової трансформації машинобудівних підприємств, вказуючи на необхідність подолання «клаптикової автоматизації».

Проте, аналіз наявних публікацій дозволяє виявити низку невирішених питань:

1. Домінування західних прикладів. Більшість досліджень фокусуються на продуктах світових лідерів – Siemens Teamcenter [6], Dassault Systèmes або PTC Windchill. При цьому недостатньо уваги приділяється проблемам адаптації цих систем до українських стандартів оформлення технічної документації (ДСТУ ISO 9001 [7], ДСТУ 8302 [8]), що є критичним для підготовки інженерів, які працюватимуть у правовому полі України.

2. Технічні бар'єри. Існуючі методики часто ігнорують технічні обмеження дистанційного навчання (низька пропускна здатність каналів зв'язку, слабке "залізо" у студентів). Питання порівняння "важких" клієнтських додатків та веб-орієнтованих рішень у контексті доступності для студента висвітлено недостатньо.

3. Вітчизняний софт. Попри наявність потужних українських розробок, зокрема платформи IT-Enterprise [9], у науковій літературі бракує комплексних порівняльних досліджень, які б зіставляли функціонал вітчизняного ПЗ зі світовими аналогами саме в розрізі освітнього потенціалу. Часто вітчизняні системи розглядаються лише як ERP (бухгалтерія/склад), тоді як їхні можливості у сфері PDM/PLM та технологічної підготовки залишаються поза увагою дослідників.

Таким чином, актуальність даної роботи зумовлена необхідністю заповнити цю прогалину та надати науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору PLM-середовища, яке б відповідало сучасним стандартам ISO [10], враховувало специфіку національного машинобудування та було ефективним в умовах дистанційної освіти воєнного часу.

Мета дослідження полягає у проведенні системного порівняльного аналізу функціональних можливостей сучасних PLM-систем для забезпечення повного циклу конструкторсько-технологічної підготовки виробництва в умовах дистанційної освіти, оцінці їх технічної доступності та відповідності вимогам українського машинобудування.

Викладення основного матеріалу дослідження. Процес підготовки виробництва на конструкторсько-технологічному рівні відзначається значною складністю інформаційних взаємозв'язків між конструкторськими та технологічними рішеннями, що особливо актуалізується за умов дистанційного навчання. Ефективність цього процесу значною мірою залежить від програмних засобів, які забезпечують узгоджену роботу з 3D-моделями, технологічними маршрутами та супровідною документацією. За таких умов актуальним є аналіз сучасних PLM-систем з погляду їх функціональних можливостей і придатності до використання в освітньому процесі.

Аналіз цих платформ свідчить про істотні відмінності їх архітектури, функціональних можливостей та придатності до використання в освітньому процесі. Так, система Siemens Teamcenter є однією з найпоширеніших у світі та фактичним галузевим стандартом для аерокосмічної й автомобільної промисловості. Її сильними сторонами є глибока інтеграція з CAD-системою NX та середовищем Simcenter, а також розвинені механізми управління конфігураціями виробів, що містять значну кількість компонентів. Водночас класична клієнт-серверна архітектура цієї системи є ресурсоємною та

вимагає потужного апаратного забезпечення і стабільного каналу зв'язку, що ускладнює її використання в умовах дистанційного навчання. Наявність web-клієнта Active Workspace частково знімає ці обмеження, проте його впровадження потребує значних серверних ресурсів і високої кваліфікації ІТ-персоналу, що є проблематичним за умов нестабільного енергопостачання. Крім того, академічні ліцензії часто мають обмеження, пов'язані з прив'язкою до інфраструктури конкретного закладу вищої освіти, що ускладнює роботу студентів поза університетськими лабораторіями.

Платформа Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE реалізує інший концептуальний підхід, відмовляючись від файлової моделі зберігання даних на користь об'єктно-орієнтованої бази та концепції бізнес-досвіду. Вона надає потужні інструменти системної інженерії та моделювання складних виробів, однак її використання в освітньому процесі обмежується вимогами до стабільного високошвидкісного інтернет-з'єднання, складністю інтерфейсу користувача та високою вартістю підписки навіть за академічними програмами. Додатковим недоліком є недостатня адаптація платформи до вимог ЄСКД, що змушує студентів виконувати значну частину оформлення конструкторської документації вручну.

PLM-система PTC Windchill із самого початку розроблялася з урахуванням web-архітектури, що забезпечує зручний віддалений доступ і роботу з використанням апаратних засобів середнього класу. Значною перевагою є інтеграція з технологіями доповненої реальності та Інтернету речей, які дозволяють реалізовувати навчальні сценарії з використанням цифрових двійників реального обладнання. Разом із тим складність налаштування бізнес-процесів під специфіку окремих навчальних дисциплін обмежує її гнучкість у контексті освітніх програм.

Окремої уваги заслуговує вітчизняна система ІТ-Enterprise, яка поєднує функціональність PDM та SAP і розробляється з урахуванням реалій українського виробництва. На відміну від більшості зарубіжних PLM-рішень, вона забезпечує повну відповідність вимогам національних стандартів, зокрема ДСТУ, автоматично формуючи маршрутні та операційні карти, а також іншу технологічну документацію. Розвинені довідники обладнання, інструменту й матеріалів, а також вбудовані алгоритми розрахунку режимів різання та норм часу дають змогу студентам виконувати не формальне, а реальне технологічне нормування. Важливою перевагою є інтеграція інженерних рішень з економічними показниками, що дозволяє в режимі реального часу оцінювати вплив вибору матеріалів і технологій на планову собівартість виробу. Наявність сучасного web-клієнта, мобільного застосунку та лояльної академічної політики, орієнтованої на заклади вищої освіти України, робить цю систему особливо придатною для використання в умовах дистанційного та змішаного навчання.

В таблиці 1 наведено розширене порівняння систем за ключовими критеріями, що впливають на якість освітнього процесу. Організація дистанційного навчання супроводжується суттєвими викликами, зокрема щодо апаратного забезпечення студентів. Більшість професійних CAD/PLM-систем вимагають наявності високопродуктивних графічних процесорів, тоді як у студентів вдома здебільшого доступні стандартні ноутбуки або ігрові ПК. Одним із ефективних рішень є застосування технології віртуальної

десктопної інфраструктури (Virtual Desktop Infrastructure, VDI), коли університет розгортає сервери віртуалізації, а студенти отримують доступ до віртуальних робочих середовищ через веб-браузер, при цьому всі обчислювальні процеси виконуються на сервері.

Таблиця 1

Комплексний аналіз PLM-систем для підготовки інженерів-механіків

Критерій	Siemens Teamcenter	Dassault 3DEXPERIENCE	PTC Windchill	IT-Enterprise
Архітектура	SOA (Service Oriented Architecture). Потребує "товстого" клієнта для повної функціональності.	Data-driven Platform. Cloud (SaaS) або On-premise.	Web-centric. Java-based architecture.	Трирівнева архітектура. Web-клієнт, Smart-клієнт.
Вимоги до каналу зв'язку	Високі (особливо для передачі 3D-збірок).	Високі. Потребує стабільного з'єднання з хмарою.	Середні. Добре оптимізований web-трафік.	Середні. Можливість роботи з кешованими даними.
Адаптація до ДСТУ (ЄСКД/ЄСТД)	Низька. Потребує дорогої кастомізації та розробки шаблонів звітів.	Низька. Орієнтація на стандарти ISO/ANSI.	Середня. Можливість налаштування звітів	Висока. Вбудовані форми документів, класифікатори та довідники ДСТУ.
Функціонал САПР (Технологія)	Teamcenter Manufacturing (потужний, але складний).	DELMIA (орієнтація на симуляцію робіт та ергономіку).	MPMLink (структурований, але потребує наповнення баз).	Потужний модуль. Розрахунок режимів, нормування праці та матеріалів
Вартість впровадження ЗВО	Висока (сервери, адміністрування).	Висока (підписка).	Середня/Висока.	Середня (партнерські програми для українських ЗВО).
Безпека даних (локалізація)	Сервери можуть бути за кордоном	Хмара переважно в ЄС/США.	Залежить від інсталяції.	Локалізація в Україні. Можливість розгортання в захищеному периметрі ЗВО.

Вітчизняна система IT-Enterprise має специфічну перевагу в цьому контексті: завдяки оптимізованому веб-клієнту вона значно менш вимоглива до ресурсів VDI у порівнянні з рішеннями Siemens або Dassault, що дозволяє знизити навантаження на

серверну інфраструктуру університету та забезпечує стабільну і доступну роботу студентів у дистанційному середовищі.

В умовах війни та обмеженого фінансування університетів, вартість володіння ПЗ виходить на перший план. Закупівля комерційних ліцензій західних систем часто є недосяжною. Водночас, компанія IT-Enterprise [9] активно підтримує освітні ініціативи, надаючи не лише доступ до ПЗ, а й методичні матеріали. Стратегічно важливо розуміти, що після завершення війни почнеться масштабна відбудова промисловості України. Підприємствам знадобляться фахівці, які розуміють специфіку локального виробництва, вміють працювати з національною нормативною базою та вітчизняним софтом на сотнях підприємств.

Висновки. Дистанційна підготовка інженерів-механіків вимагає переходу від фрагментарного освоєння окремих інструментів до комплексного використання PLM-платформ, що забезпечують системне мислення та наскрізне розуміння життєвого циклу виробу навіть за відсутності фізичної практики. Аналіз сучасних PLM-систем показує, що західні рішення, попри технологічну перевагу, мають суттєві обмеження для масового впровадження в умовах дистанційного навчання: високі апаратні вимоги, залежність від стабільного інтернету, складність адаптації до національних стандартів та висока вартість ліцензій.

Вітчизняна система IT-Enterprise вирізняється повною відповідністю українським стандартам, наявністю готових технологічних довідників, інтегрованими інструментами управління даними та технологічними процесами, можливістю оцінки собівартості та ресурсного планування в режимі реального часу, доступністю через web- та мобільний клієнт, а також україномовним інтерфейсом. Вона дозволяє реалізувати наскрізний цифровий процес від проектування до планування та нормування, формуючи у студентів глибоке розуміння взаємозалежності інженерних рішень та практичну готовність до роботи у національному виробничому середовищі.

Найбільш ефективною є гібридна модель навчання, яка поєднує ознайомлення з логікою світових PLM-систем та детальну практичну роботу в IT-Enterprise, забезпечуючи баланс між глобальним професійним світоглядом і готовністю до реалізації інженерних рішень у реальних умовах українського машинобудування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Stark J. Product Lifecycle Management (Volume 1): 21st Century Paradigm for Product Realisation. 4th ed. Cham : Springer, 2022. 541 p. DOI: 10.1007/978-3-030-94335-6.
2. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. 2017. P. 85-113.
3. Варшав'як Г. Б., Гребеніков О. Г., Гуменний А. М., Гребеніков В. А. Досвід впровадження систем CAD/CAM/CAE/PLM в навчально-науково-виробничому центрі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. – 2023. – № 97. – С. 164-194. – Режим доступу: <https://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/2174/2172>

4. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи *Technologi CS* при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства машинобудування // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету ім. Д. Моторного. – 2024. – №24(1). – С. 184-194. – Режим доступу: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/704>
5. Duda J., Oleszek S., Santarek K. The Impact of PLM Systems on the Digital Transformation of Manufacturing Companies // *Advances in Production Management Systems*. – 2024. – Vol. 2. – P. 151–164. – DOI: 10.1007/978-3-031-56444-4_12.
6. Siemens Digital Industries Software. Teamcenter X: Cloud PLM. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/teamcenter/teamcenter-x-cloud-plm/> (дата звернення: 29.12.2025).
7. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.
8. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
9. Управління життєвим циклом виробу (PLM) / IT-Enterprise. URL: <https://it.ua/products/rd/upravlenie-zhiznennym-ciklom-izdelija-plm> (дата звернення: 29.12.2025).
10. ISO 10303-242:2020. Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering. Geneva : ISO, 2020.

REFERENCES

1. Stark, J. (2022). *Product Lifecycle Management (Volume 1): 21st Century Paradigm for Product Realisation* (4th ed.). Cham: Springer.
2. Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 85-113). Springer.
3. Varshavyak, H. B., Hrebenikov, O. H., Humennyi, A. M., & Hrebenikov, V. A. (2023). *Dosvid vprovadzhennya system CAD/CAM/CAE/PLM v navchal'no-naukovo-vyrobnychomu tsentri Natsional'noho aehrokosmichnoho universytetu im. M. Ye. Zhukovs'koho “Kharkiv Aviation Institute”* [Experience of implementing CAD/CAM/CAE/PLM systems in the educational-scientific-production center of the National Aerospace University named after M. E. Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute”]. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, (97), 164–194. <https://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/2174/2172>
4. Matsulevych, O. Y. (2024). *Zastosuvannya spetsializovanoyi PLM-systemy Technologi CS pry rozrobsi avtomatizovanoï systemy vedennya konstruktors'ko-tekhnolohichnykh baz danykh pidpryyemstva mashynobuduvannya* [Application of the specialized PLM system Technologi CS in the development of an automated system for managing design and technological databases of a machine-building enterprise]. *Proceedings of the Tavria State agrotechnological university*, 24(1), 184–194. <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/704>

5. Duda, J., Oleszek, S., & Santarek, K. (2024). The impact of PLM systems on the digital transformation of manufacturing companies. In *Advances in Production Management Systems* (Vol. 2, pp. 151–164). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56444-4_12
6. Siemens Digital Industries Software. (n.d.). *Teamcenter X: Cloud PLM*. Retrieved December 29, 2025, from <https://plm.sw.siemens.com/en-US/teamcenter/teamcenter-x-cloud-plm/>
7. State Enterprise "UkrNDNC". (2016). *Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy* [Quality management systems. Requirements] (DSTU ISO 9001:2015). Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC" [in Ukrainian].
8. State Enterprise "UkrNDNC". (2016). *Informatsiia ta dokumentatsiia. Bibliografichne posylannia. Zahalni polozhennia ta pravyla skladannia* [Information and documentation. Bibliographic reference. General principles and rules of composition] (DSTU 8302:2015). Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC" [in Ukrainian].
9. IT-Enterprise. (n.d.). *Upravlinnia zhyttievym cyblem vyrobu (PLM)* [Product Lifecycle Management (PLM)]. Retrieved December 29, 2025, from <https://it.ua/products/rd/upravlenie-zhiznennym-ciklom-izdelija-plm> [in Ukrainian].
10. International Organization for Standardization. (2020). *Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering* (ISO Standard No. 10303-242:2020).

Received 26.12.2025.
Accepted 05.01.2026.

Strategies of digital transformation in the training of mechanical engineers under distance learning conditions

This study addresses the challenges of training mechanical engineers in design and technological production under distance learning imposed by martial law in Ukraine. The sudden shift to remote education revealed significant gaps in practical training, especially in access to industrial-grade software for collaborative design, version control, and technological data management. Product Lifecycle Management (PLM) systems are essential tools for developing digital competencies and understanding the full product lifecycle.

Recent research emphasizes the strategic role of PLM in integrating design, process planning, and production data, supporting the use of digital twins and synchronizing virtual and physical product models. Integrating PLM with CAD/CAM/CAE systems in higher technical education enhances digital skills and aligns programs with industry needs. However, adaptation of PLM platforms to remote learning conditions, national standards, and limited IT infrastructure is not yet fully explored.

The study evaluates modern PLM system - Siemens Teamcenter, Dassault 3DEXPERIENCE, PTC Windchill, and the domestic IT-Enterprise platform - considering functionality, technical accessibility, compliance with DSTU standards, web availability, VDI compatibility, and cost efficiency for higher education.

The study concludes that effective digital transformation requires combining exposure to global PLM concepts with hands-on practice in nationally adapted platforms. A hybrid approach fosters systemic understanding of the product lifecycle, practical readiness for local manufacturing, and competencies aligned with industry standards. Methodological recom-

mendations are provided for integrating diverse CAD/CAM/CAE/PLM tools into a unified digital educational environment.

Keywords: PLM systems, digital transformation of education, distance learning, product lifecycle management, design and technological training, engineering data management, digital educational environment.

Пікільняк Андрій Валерійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування, Криворізький національний університет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0898-4756>

Цивінда Наталія Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування, Криворізький національний університет.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1526-5100>

Pikilniak Andrii – PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering, Kryvyi Rih National University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0898-4756>

Tsyvinda Nataliia – PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering, Kryvyi Rih National University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1526-5100>